



Planbureau voor de Leefomgeving

# **OP WEG NAAR EEN KLIMAATNEUTRALE WONINGVOORRAAD IN 2050**

Investeringsopties voor een kosteneffectieve  
energievoorziening

---

**BELEIDSSTUDIE**

---



# Op weg naar een klimaatneutrale woningvoorraad in 2050

Investeringsopties voor een kosteneffectieve energievoorziening

Ruud van den Wijngaart, Rob Folkert en Manon van Middelkoop

**Op weg naar een klimaatneutrale woningvoorraad in 2050. Investeringsopties voor een kosteneffectieve energievoorziening**

© PBL Planbureau voor de Leefomgeving  
Den Haag, 2014

ISBN: 978-94-91506-58-1  
PBL-publicatienummer: 738

**Contact**

Ruud van den Wijngaart, ruud.vandenwijngaart@pbl.nl

**Supervisor**

Pieter Boot

**Modelruns**

Bas van Bommel

**Modelontwikkeling en data Vesta 2.0**

Cor Leguijt en Benno Schepers (beiden CE Delft), Maarten Hilferink (ObjectVision), Bas van Bommel en Rob Folkert (beiden PBL)

**Met dank aan**

De auteurs hebben dankbaar gebruikgemaakt van de review van een tussenversie van het rapport door Frans Rooijers (CE Delft), Marijke Menkveld en Casper Tichelaar (beiden ECN), Jan-Willem van de Groep, Jasper van den Munckhof en Ivo Opstelten (allen Platform31), Corjan van de Brink (PBL), Judith Borsboom, Wouter Borsboom, Sophie Jongeneel en Lucienne Krosse (allen TNO) en het commentaar op het conceptrapport van Leo Brouwer, Jos Verlinden, Willem Relou, Ronald Schillemans, Co Westerweel, David Benjamin van der Woude (allen ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties) en Frank van Dam, Anton van der Giessen, Dorien Manting, Robert Koelemeijer, Jacqueline Timmerhuis en Ries van der Woude (allen PBL).

**Beeldredactie**

Beeldredactie PBL

**Eindredactie en productie**

Uitgeverij PBL

**Opmaak**

VijfKeerBlauw, Martin Middelburg

U kunt de publicatie downloaden via de website [www.pbl.nl](http://www.pbl.nl).

Delen uit deze publicatie mogen worden overgenomen op voorwaarde van bronvermelding: Wijngaart, R. van den et al. (2014),

*Op weg naar een klimaatneutrale woningvoorraad in 2050*, Den Haag: PBL.

Het PBL is het nationale instituut voor strategische beleidsanalyses op het gebied van milieu, natuur en ruimte. Het PBL draagt bij aan de kwaliteit van de politiek-bestuurlijke afweging door het verrichten van verkenningen, analyses en evaluaties waarbij een integrale benadering vooropstaat. Het PBL is vóór alles beleidsgericht. Het verricht zijn onderzoek gevraagd en ongevraagd, onafhankelijk en altijd wetenschappelijk gefundeerd.

# Inhoud

## **Samenvatting** 4

Hoofdconclusies 5

## **Investeren in een klimaatneutrale woningvoorraad** 8

Inleiding 8

De vier investeringspaden 9

Resultaten investeringspaden 11

Literatuur 18

# Samenvatting

Energiebesparing kan de CO<sub>2</sub>-uitstoot van de warmtevraag met 50 tot 80 procent verminderen in 2050 ten opzichte van 2010. De CO<sub>2</sub>-uitstoot halveert door 300.000 woningen per jaar te renoveren met de nu gangbare energiebesparingsmaatregelen. In 2035 zijn dan alle woningen minimaal één keer gerenoveerd waarna de meeste woningen nog een keer worden gerenoveerd met energiebesparingsmaatregelen die dan goedkoper zijn geworden. De CO<sub>2</sub>-uitstoot neemt met 80 procent af wanneer woningen meer ingrijpend met diepgaander energiebesparing worden gerenoveerd. Met deze 'diepgaande energiebesparingsroute' worden alle woningen in de periode tot 2050 een keer gerenoveerd tijdens een moment van groot onderhoud. De helft van de huidige woningen is dan in 2050 vergaand geïsoleerd, waarbij ze in de eigen warmtevraag voorzien met zonne-energie. De overige gerenoveerde woningen hebben in 2050 een energielabel B.

De gangbare energiebesparingsroute is financieel voordelig voor woningeigenaren, maar de diepgaande energiebesparingsroute niet tenzij er een sterke technologieontwikkeling plaatsvindt. Voor de samenleving als geheel leveren geen van beide routes een financieel voordeel op tenzij de sterke technologieontwikkeling plaatsvindt.

Om de resterende CO<sub>2</sub>-uitstoot verder terug te dringen met decentrale energieopties, is een maximale inzet nodig van warmtenetten en groen gas. Verder moet minimaal de helft van het dakoppervlak van alle woningen worden bedekt met zonnepanelen om ook de elektriciteitsvraag klimaatneutraal te kunnen maken.

## Hoofdconclusies

### Vier investeringsroutes naar een klimaatneutrale woningvoorraad

Voor deze studie zijn de mogelijkheden en kosten verkend van vier investeringsroutes die in 2050 kunnen leiden tot een klimaatneutrale woningvoorraad. 'Klimaatneutraal' wil zeggen dat de woningvoorraad geen CO<sub>2</sub> uitstoot of de uitstoot compenseert door een vergelijkbare hoeveelheid CO<sub>2</sub> bij een andere sector te vermijden; compenseren kan door de opwekking en levering van hernieuwbare energie aan een andere sector. Het gaat er dus niet om dat huishoudens CO<sub>2</sub>-arme energie van elders betrekken, maar dat ze die zelf in hun woning of directe woonomgeving opwekken.

Bij de investeringsroutes (of -paden) gaat het om investeringen in energiebesparing en decentrale energieopwekking die tot 2050 jaarlijks worden genomen. De paden verschillen in tempo en diepgang van de energiebesparing en omvang van decentrale energieopwekking.

Samengevat hebben de investeringsroutes wat betreft de energiebesparing de volgende kenmerken:

- In het eerste investeringspad ('Beperkt') bestaat de diepgang van de energiebesparing per woning uit labelsprongen die momenteel gangbaar zijn (2 labels omhoog en/of tot energielabel B), maar ligt het renovatietempo van de woningvoorraad iets lager dan in de afgelopen jaren.
- In het tweede investeringspad ('Breed') is de diepgang per woning tot 2030 vergelijkbaar met die van het eerste pad, maar is het renovatietempo een- tot tweemaal zo hoog als in de afgelopen jaren. Hierdoor zijn omstreeks 2035 bijna alle woningen gerenoveerd. Daarna wordt een deel van de woningen op een natuurlijk moment voor grootschalig onderhoud (eens in de 30 à 40 jaar) opnieuw gerenoveerd met een verdergaande energieverbetering.
- In het derde investeringspad ('Diep') worden in de periode tot 2050 alle woningen slechts eenmaal diepgaand gerenoveerd, dat wil zeggen met een zo groot mogelijke energieverbetering. Omdat het om ingrijpende renovaties gaat, gebeurt dat op een natuurlijk moment voor grootschalig onderhoud. Het gaat daarbij om een verbetering naar energielabel B of naar energielabel Eigenwarmte (wat betekent dat de woning in de eigen warmte voorziet zonder CO<sub>2</sub>-uitstoot te veroorzaken). Het aandeel renovaties naar energielabel Eigenwarmte neemt geleidelijk aan toe. In 2050 is dan 55 procent van de huidige woningvoorraad een Eigenwarmte-woning en 42 procent een label B-woning. Verondersteld is dat de huidige label A-woningen (3 procent) niet worden gerenoveerd.
- Het vierde investeringspad ('Gefaseerd diep') verschilt van het derde doordat voor 2030 bij de renovaties naar label Eigenwarmte alleen aan isolatieverbetering wordt gedaan. Dit beperkt de investeringskosten, omdat de relatief duurdere warmte-installatiemaatregelen niet worden genomen. Na 2030 worden deze maatregelen wel genomen bij renovaties naar label Eigenwarmte. Verondersteld is dat de kosten dan zijn gedaald onder invloed van technologieontwikkeling.

De warmtevraag die na de energiebesparing resteert, bepaalt de voor een klimaatneutraal resultaat benodigde investeringen in decentrale energieopwekking. Deze restvraag naar warmte verschilt tussen de investeringspaden. De opties die voor decentrale energieopwekking zijn beschouwd, zijn warmtenetten voor de benutting van restwarmte, geothermie, warmtekrachtkoppeling (WKK) en lokaal geproduceerd gas uit biologisch afval en reststromen.<sup>1</sup>

### Energiebesparing levert de grootste bijdrage aan een afname van de CO<sub>2</sub>-uitstoot van de warmtevraag

#### Energiebesparing kan de CO<sub>2</sub>-uitstoot van de warmtevraag met 50 tot 80 procent verminderen

In de periode tot 2050 kan energiebesparing de CO<sub>2</sub>-uitstoot van de bestaande woningvoorraad met de helft of meer verminderen ten opzichte van de huidige

uitstoot. Een investeringsroute waarin gangbare energiebesparingsmaatregelen op grote schaal worden toegepast (Breed) leidt tot een halvering van de CO<sub>2</sub>-uitstoot. Naast het voordeel voor de CO<sub>2</sub>-reductie is de energiebesparing ook financieel voordelig, omdat de kosten voor woningisolatie lager zijn dan de uitgespaarde inkoopkosten van aardgas. Dit financiële voordeel geldt voor woningeigenaren (eigenaren-bewoners en verhuurders). Bij verhuurders wordt ervan uitgegaan dat

Tabel S1

**CO<sub>2</sub>-reductie van de warmtevraag en kosten van energiebesparing**

Investeringspad	CO <sub>2</sub> -reductie (% t.o.v. 2010)	Kosten voor woningeigenaren (euro/jaar/woning)		Kosten voor samenleving (euro/jaar/woning)	
		Midden	Optimistisch	Midden	Optimistisch
		Schatting van de ontwikkeling van investeringskosten			
Breed	50	-4	-69	40	-10
Diep	80	73	-77	120	-1

zij de investeringskosten van de energiebesparingsmaatregelen doorberekenen in de huur. Voor de huurders wordt de hogere huur gecompenseerd door een lagere energierekening.

Een grotere CO<sub>2</sub>-reductie, namelijk 80 procent, wordt bereikt in investeringspad Diep. De bij deze route horende diepgaande, innovatieve energiebesparingsmaatregelen zijn echter financieel nadelig voor de woningeigenaar, omdat de besparing op de energiekosten niet opweegt tegen de kosten voor de woningisolatie. Het financiële nadeel kan wel worden beperkt door een fasering van de energiebesparingsmaatregelen (route Gefaseerd diep). Door technologische ontwikkelingen en ervaringen in kleinschalige projecten kunnen namelijk de kosten van de (nu) dure innovatieve maatregelen nog aanzienlijk dalen. Als de duurste maatregelen van de investeringsroute Diep pas op grote schaal worden genomen bij woningverbeteringen na 2030, dan is het financiële nadeel minder groot, terwijl de CO<sub>2</sub>-reductie toch nog 75 procent is.

Energiebesparing heeft niet alleen gevolgen voor woningeigenaren, maar ook voor de overheid. Deze wordt namelijk geconfronteerd met minder inkomsten van energiebelasting en btw. Bekijken we de gevolgen voor de samenleving als geheel, dan heeft geen van de drie genoemde investeringspaden financiële baten. Dit betekent dat er netto kosten worden gemaakt om de CO<sub>2</sub>-uitstoot met 50 tot 80 procent te verminderen: de besparing op de energie-uitgaven weegt dan niet op tegen de afschrijving van de investeringskosten. De uitstootvermindering is uiteraard wel een bate die tegenover de netto kosten staat. In hoeverre energiebesparing dan toch wenselijk is, is afhankelijk van de maatschappelijke waarde die wordt gehecht aan de vermindering van de CO<sub>2</sub>-uitstoot en aan andere voordelen van energiebesparing, zoals de verhoging van het comfort.

**Diepgaande energiebesparing is financieel voordelig bij een sterke technologieontwikkeling**

De voorgaande conclusies gelden voor de berekeningen waarin is uitgegaan van een middenschatting van de ontwikkeling van de investeringskosten. Bij een

optimistischer inschatting kunnen technologie-ontwikkeling, opschaling naar massaproductie en prefabricatie tot een substantiële daling leiden van de investeringskosten van nieuwe, innovatieve technologieën. De energiebesparingen van de investeringsroutes Breed en Diep zijn dan financieel voordelig voor zowel woningeigenaren als de samenleving als geheel. In de route Diep is het financiële voordeel iets groter voor woningeigenaren, voor de samenleving als geheel is investeringspad Breed iets voordeliger (zie Tabel S1).

**De betaalbaarheid van energie neemt voor huishoudens in de toekomst toe**

Voor huishoudens verbetert naar verwachting de betaalbaarheid van energie. Dit staat of valt wel met de verwachting dat het besteedbare inkomen meer blijft stijgen dan de energieprijzen. Daarvoor moet dat inkomen tot 2050 jaarlijks met 1 procent toenemen en moeten de energieprijzen stijgen tot 2030 conform de Referentieraming uit 2012 (Verdonk & Wetzels 2012) en daarna reëel gelijk blijven tot 2050. De toekomstige betaalbaarheid van energie verbetert ook ten opzichte van nu als de duurste maatregelen voor maximale energiebesparing worden getroffen. In deze studie is gerekend met gemiddelde energiegebruiken van huishoudens. Door verschillen in het gedrag van huishoudens en in de energieprestatie en andere kenmerken van de woning, is het energiegebruik van afzonderlijke huishoudens zeer gevarieerd. Hierdoor zullen de kosten en opbrengsten van energiebesparingsmaatregelen en de daarmee samenhangende motivatie om maatregelen te treffen per huishouden eveneens variëren.

**Decentrale energieopwekking is nodig om de woningvoorraad klimaatneutraal te maken****Warmtenetten en groen gas kunnen de CO<sub>2</sub>-uitstoot van de warmtevraag verder verminderen**

Op de lange termijn is het mogelijk om de warmtevraag van de bestaande woningvoorraad klimaatneutraal te maken. Om op 'klimaatneutraal' uit te komen, is dan naast energiebesparing decentrale energieopwekking



noodzakelijk als sluitstuk. Voor de warmtevraag zijn warmtenetten en groen gas daarvoor geschikte opties. Door warmtenetten kan de restwarmte van lokale industriële en elektriciteitsbedrijven en warmte uit de diepe ondergrond worden benut voor de warmtevraag van huishoudens, en lokaal geproduceerd groen gas kan het gebruik van aardgas vervangen. Niet overal in Nederland is echter voldoende groen gas en rest- en aardwarmte aanwezig om aan de resterende warmtevraag van woningen te voldoen. Klimaatneutraliteit kan dan worden bereikt door de CO<sub>2</sub>-uitstoot van het aardgasverbruik voor de warmtevraag te compenseren met het lokaal opwekken van elektriciteit uit zonnepanelen en de zonnestroom vervolgens aan andere sectoren te leveren, bijvoorbeeld transport.

#### **Klimaatneutraliteit van de woningvoorraad vereist een grote inzet van zonnepanelen**

Het met decentrale energieopwekking klimaatneutraal maken van de woningvoorraad vergt een omvangrijke inzet van zonnepanelen. Dit geldt des te meer als ook de resterende CO<sub>2</sub>-uitstoot van de warmtevraag moet worden gecompenseerd, zoals hiervoor geschetst. Het benodigde oppervlak aan zonnepanelen (zo'n 200 tot 300 vierkante kilometer) komt ongeveer overeen met de helft van het dakoppervlak van de woningvoorraad.

#### **Kostenoptimale samenstelling van klimaatneutrale route is afhankelijk van technologieontwikkeling**

De investeringspaden laten zien dat een klimaatneutrale woningvoorraad in 2050 op meerdere manieren kan worden bereikt. Via investeringsroute Breed wordt de CO<sub>2</sub>-uitstoot van de warmtevraag gehalveerd door het op grote schaal toepassen van gangbare energiebesparingsmaatregelen. Decentrale energieopwekking is dan nodig om de andere helft van de benodigde CO<sub>2</sub>-reductie te bewerkstelligen. Warmtenetten en groen gas kunnen hieraan een substantiële bijdrage leveren. Maar ook dan wordt er nog aardgas gebruikt en is de woningvoorraad nog niet geheel klimaatneutraal. De CO<sub>2</sub>-uitstoot van het resterende aardgas kan dan worden gecompenseerd door de levering van zonnestroom aan andere sectoren. Nog meer zonnepanelen zorgen daarnaast voor een CO<sub>2</sub>-loze opwekking van de elektriciteit die nodig is voor huishoudelijke apparaten.

Via investeringsroute Diep neemt de CO<sub>2</sub>-uitstoot van de warmtevraag met 80 procent af; decentrale energieopwekking en CO<sub>2</sub>-compensatie met zonnepanelen hoeft dan een aanzienlijk minder grote bijdrage aan de CO<sub>2</sub>-reductie te leveren dan in het pad Breed. De inzet van zonnepanelen voor de elektriciteitsvraag van huishoudelijke apparaten is in deze route hetzelfde als in Breed, maar er worden wel extra zonnepanelen ingezet

voor de elektriciteitsvraag van de elektrische warmtepomp die in deze route nodig is voor de energiebesparing op de warmtevraag.

De vraag welke van de twee investeringspaden voor woningeigenaren kostenoptimaal is, hangt af van de ontwikkeling van de investeringskosten. In deze studie zijn vooral de kosten van energiebesparing onderzocht. Bij een middenschatting van de ontwikkeling van de investeringskosten zijn de gangbare energiebesparingsmaatregelen van investeringspad Breed het meest kostenoptimaal, omdat de besparing in dit pad een financieel voordeel oplevert, terwijl die in investeringspad Diep tot een financieel nadeel leidt. Uitgaande van een optimistische inschatting van de investeringskosten levert de energiebesparing van investeringspad Diep echter ook een financieel voordeel, een voordeel dat zelfs groter is dan in Breed.

Ook de vraag of en in hoeverre energiebesparing kostenoptimaal is voor de samenleving als geheel levert bij een middenschatting een ander antwoord op dan bij een optimistische schatting van de ontwikkeling van de investeringskosten. Bij de middenschatting resulteert energiebesparing in beide investeringspaden in een financieel nadeel voor de samenleving, waarbij dat nadeel in investeringspad Breed het kleinst is. Bij een optimistische inschatting echter, leidt energiebesparing in beide investeringspaden tot een (licht) financieel voordeel voor de samenleving als geheel.

#### **Noot**

- 1 Zie voor een uitgebreider bespreking van de werkwijze en resultaten van deze studie het bij dit rapport horende achtergronddocument van Van den Wijngaart et al. (2014).

# Investeren in een klimaatneutrale woningvoorraad

## Inleiding

In de afgelopen jaren zijn zowel op Europees als op nationaal niveau ambitieuze langetermijndoelstellingen geformuleerd voor energiebesparing, hernieuwbare energieopwekking en het omgaan met klimaatverandering. Het ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties heeft het PBL verzocht te onderzoeken met welke investeringen in de huidige woningbouwvoorraad op de lange termijn vergaande CO<sub>2</sub>-reductie en een duurzame energievoorziening zijn te realiseren en wat hierbij de kosten en technische knelpunten zijn. Dit vraagstuk is verder actueel geworden door het recent gesloten Nationale Energieakkoord voor Duurzame Groei (SER 2013). In dat akkoord streven partijen naar een energieneutrale gebouwde omgeving in 2050, die leidt tot terugdringing van CO<sub>2</sub>-emissies. Zij richten zich op: ‘... intensivering van investeringen in energiebesparing in de gebouwde omgeving en decentrale hernieuwbare energieopwekking voor eigen gebruik. Daarbij zal de trias energetica worden gevolgd, waar haalbaar, betaalbaar en efficiënt:

- (1) energiebesparing;
- (2) hernieuwbare energieopwekking;
- (3) zo schoon en efficiënt mogelijk opwekking van niet-hernieuwbare energie’ (SER 2013:16-17).

In tegenstelling tot het Energieakkoord hanteren we in deze studie het begrip ‘klimaatneutraal in plaats van ‘energieneutraal’, omdat daarmee de verschillende opties voor het terugdringen van de CO<sub>2</sub>-uitstoot inzichtelijk

kunnen worden gemaakt, bijvoorbeeld de mogelijkheid om restwarmte van lokale bedrijven te benutten voor de warmtevraag van woningen. Ook een vergelijking met het betrekken van CO<sub>2</sub>-arme energie van elders wordt hiermee vergemakkelijkt.

Voor de eerste pijler, energiebesparing, is het van belang om te weten hoeveel CO<sub>2</sub>-reductie gangbare en innovatieve maatregelen kunnen opleveren en tegen welke kosten. Vervolgens is het van belang om te weten hoeveel de tweede (hernieuwbare energieopwekking) en derde pijler (het zo schoon en efficiënt mogelijk opwekken van niet-hernieuwbare energie) kunnen bijdragen aan het terugdringen van de CO<sub>2</sub>-uitstoot en of de kosten hiervan kunnen opwegen tegen die van de eerste pijler.

Het onderzoek is afgebakend tot de bestaande woningvoorraad, omdat hier de grootste en moeilijkste opgave ligt, met de focus op de besparing van de warmtevraag. Voor de warmtevraag die resteert na de energiebesparingsmaatregelen van de eerste pijler, schetsen we de mogelijkheden van technieken voor de tweede en derde pijler. Voor de elektriciteitsvraag beschouwen we alleen de tweede en derde pijler omdat de mogelijkheden voor elektriciteitsbesparing voor het grootste deel afhankelijk zijn van internationale ontwikkelingen, zoals EU-normen voor elektrische apparaten. We laten onder andere zien hoeveel potentieel in de drie pijlers moet worden gerealiseerd om de woningvoorraad in 2050 voor 100 procent

Tabel 1

**Diepgang en tempo van de energiebesparing in de investeringspaden**

Investeringspad	Diepgang	Renovatietempo
Beperkt	Laag	100.000 woningen per jaar
Breed	Midden	300.000 woningen per jaar tot 2030 170.000 woningen per jaar (natuurlijke momenten) na 2030
Diep	Hoog	170.000 woningen per jaar (natuurlijke momenten)
Gefaseerd diep	Hoog zonder elektrische warmtepomp tot 2030 en met elektrische warmtepomp na 2030	170.000 woningen per jaar (natuurlijke momenten)

klimaatneutraal te maken en welke kosten hiermee zijn gemoeid.

De hoofdvraag van het onderzoek is daarmee tweeledig:

1. Welke investeringen in energiebesparing zijn op de lange termijn voor zowel eindgebruikers als de samenleving als geheel het meest kosteneffectief om de warmtevraag van de woningvoorraad te verminderen?
2. Welke bijdrage van decentrale energieopwekking is nodig voor de resterende opgave om het totale energiegebruik van de woningvoorraad klimaatneutraal te maken?

## De vier investeringspaden

Voor deze studie zijn de mogelijkheden en kosten verkend van vier investeringsroutes die in 2050 kunnen leiden tot een klimaatneutrale woningvoorraad. De investeringen zijn opgesplitst in maatregelen voor energiebesparing en decentrale energieopwekking.

### Investeren in energiebesparing

De investeringsroutes verschillen in het renovatietempo en de diepgang van de energiebesparing. Bij het tempo gaat het om het aantal woningen dat per jaar wordt gerenoveerd (zie tabel 1). Vanwege het ingrijpende karakter en de kosten is er bij grote energieverbeteringen voor gekozen om het renovatietempo te laten aansluiten bij natuurlijke momenten voor grootschalig onderhoud (eenmaal in de 30 à 40 jaar). De diepgang van de maatregelen heeft betrekking op de mate van energiebesparing en wordt uitgedrukt in energielabel-sprongen. De belangrijkste maatregelen om te besparen op de energievraag zijn het verbeteren van de isolatie van de woning, het verwarmen van warm tapwater met een zonneboiler en een efficiëntere ruimteverwarming met een elektrische warmtepomp. Daarbij kan de benodigde elektriciteit voor de warmtepomp met hernieuwbare energie worden opgewekt, bijvoorbeeld door

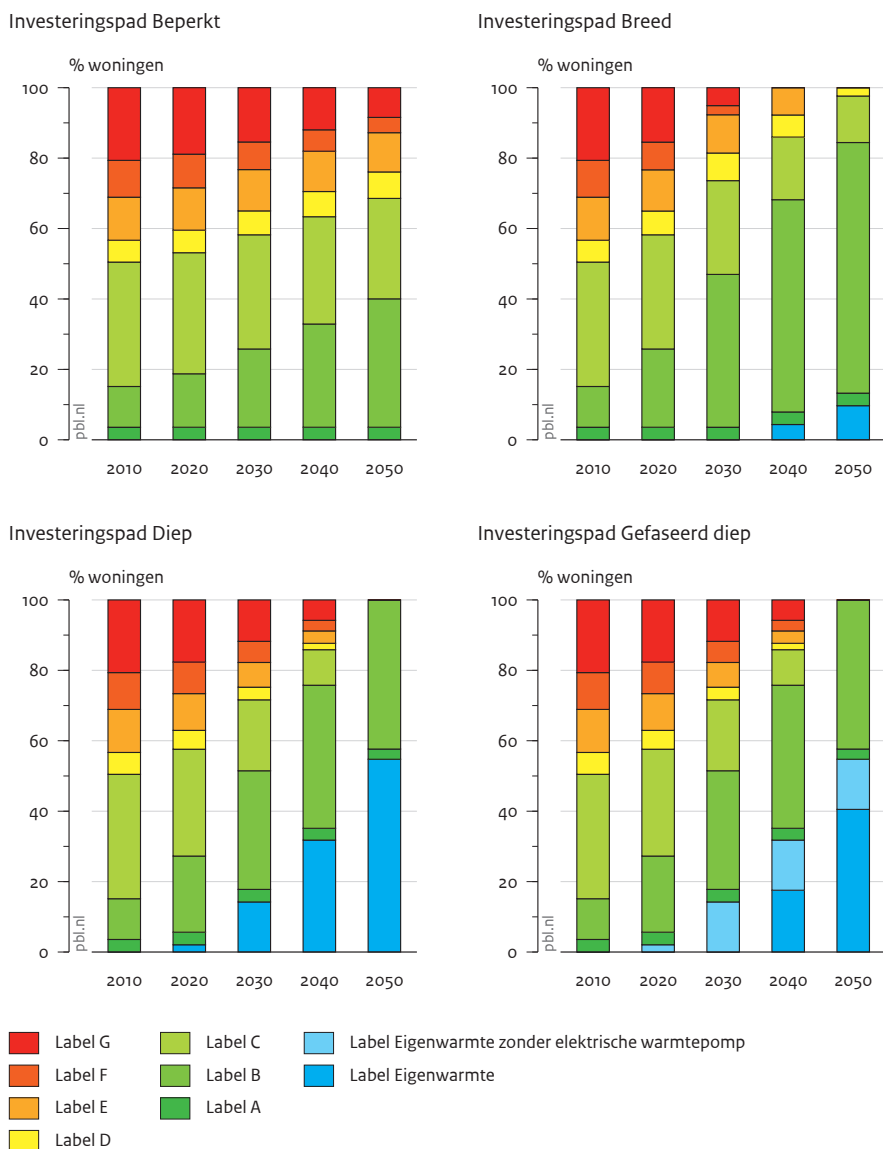
zonnepanelen die op het dak of aan de gevel van de woning worden geïnstalleerd.

In de praktijk wordt de energiekwaliteit van de woning uitgedrukt in energielabels met de letters G tot en met A. Bij een woning met energielabel G zijn nog geen energiematregelen genomen, bij label A-woningen zijn de momenteel gangbare maatregelen al getroffen. Een innovatieve technologie, waarbij de woning nog beter wordt geïsoleerd dan bij energielabel A en van een eigen warmte-installatie wordt voorzien, is in opkomst. De warmte-installatie is daarbij een elektrische warmtepomp met een lagetemperatuurafgiftesysteem (vloerverwarming en/of grote radiatoren). De stroom die de elektrische warmtepomp gebruikt, kan (op jaarbasis) worden opgewekt met zonnepanelen. Een woning die op een dergelijke wijze in de eigen warmte voorziet zonder CO<sub>2</sub>-uitstoot te veroorzaken, noemen we in dit rapport een woning met energielabel Eigenwarmte.

Voor alle energiebesparingsmaatregelen zijn de effecten op de investeringskosten ingeschat van de ontwikkeling van de technologie, schaarste van materiaal en arbeidskosten. We veronderstellen dat de investeringskosten van een woningverbetering naar label Eigenwarmte in de loop van de tijd sneller dalen dan die van de overige woningverbeteringen, omdat het in het eerste geval gaat om relatief nieuwe innovatieve technieken waarmee nog weinig ervaring is opgedaan. Technologieontwikkeling, opschaling naar massaproductie en prefabricatie kunnen hier nog voor een substantiële daling van de investeringskosten zorgen. De overige woningverbeteringen met labelsprongen naar maximaal label B zijn al enige jaren gangbaar. Omdat er al ruimschoots ervaring mee is opgedaan, zullen de kosten van de gangbare maatregelen in de toekomstig nog maar beperkt dalen.

De investeringsroutes kunnen worden vergeleken met het bestaande beleid. Investeringspad Beperkt komt overeen met een ten opzichte van het bestaande beleid 'laissez faire'-achtige beleidsinspanning. De route Breed sluit aan bij de doelstelling van de nationale aanpak voor

**Figuur 1**  
**Verdeling van energielabels van woningvoorraad**



Bron: PBL Vesta-model 2013

energiebesparing in de bestaande woningvoorraad ‘Meer met minder’ (300.000 woningen per jaar met twee labelsprongen verbeteren). Investeringspad Diep betekent mogelijk een intensivering van het beleid richting innovatieve technieken met een diepgaander energiebesparing, omdat alle bestaande woningen diepgaand, op een natuurlijk moment en uiterlijk in 2050, zijn gerenoveerd. Met Gefaseerd diep, ten slotte, wordt onderzocht of het financieel voordelig kan zijn om de duurste maatregelen van investeringspad Diep uit te stellen. Zie voor de overige kenmerken van de investeringspaden het tekstkader op pagina 5, en figuur 1

voor de ontwikkeling van de verdeling van de energielabels over de woningvoorraad in de periode 2010-2050.

### Investeren in decentrale energieopwekking

De warmtevraag die na de energiebesparing resteert, bepaalt de voor een klimaatneutraal resultaat benodigde investeringen in decentrale energieopwekking. Deze restvraag naar warmte verschilt tussen de investeringspaden. De opties die bij decentrale energieopwekking zijn beschouwd, zijn warmtenetten voor de benutting van restwarmte, geothermie,

Tabel 2

**CO<sub>2</sub>-reductie van de warmtevraag en kosten van de investeringspaden voor eindgebruikers (constant jaarlijks bedrag tot 2050)**

Investeringspad		Beperkt	Breed	Diep	Gefaseerd diep
CO <sub>2</sub> -reductie in 2050 t.o.v. 2010	%	28%	51%	80%	75%
Eindgebruikerskosten	mln euro/jaar	-381	-28	517	364
Eindgebruikerskosten per woning	euro/jaar	-54	-4	73	51
Eindgebruikerskosten per vermeden ton CO <sub>2</sub>	euro/ton CO <sub>2</sub>	-72	-3	37	24

warmtekrachtkoppeling (WKK) in de wijk en lokaal geproduceerd gas uit biologisch afval en reststromen. Het lokaal geproduceerde biogas kan worden ingezet in de wijk-WKK, die via een lokaal netwerk warmte levert aan de woningen in de wijk. Het biogas kan ook worden opgewaardeerd tot aardgaskwaliteit, waardoor het als 'groen gas' kan worden ingezet in het aardgasnet zonder dat aanpassingen nodig zijn van leidingen en installaties als gasfornuizen. Het groene gas, dat het aardgas vervangt, kan worden ingevoerd in het bestaande lokale of landelijke aardgasnet. We gaan in het onderzoek uit van een CO<sub>2</sub>-neutraal gebruik van groen gas in het lokale aardgasnet, en rekenen de uitgespaarde CO<sub>2</sub>-uitstoot door de vervanging van aardgas toe aan de gebouwde omgeving.

Daarnaast worden zonnepanelen ingezet om te voorzien in de elektriciteitsvraag van huishoudelijke apparaten. Zonnepanelen kunnen ook worden ingezet als 'sluitpost' wanneer de overige opties van decentrale energie-opwekking de resterende CO<sub>2</sub>-uitstoot van de warmtevraag niet kunnen dekken: het tekort aan CO<sub>2</sub>-reductie wordt dan gecompenseerd door de stroom van de zonnepanelen aan andere sectoren te leveren, bijvoorbeeld transport (elektrische auto) en industrie. In hoeverre de elektriciteit uit zonnepanelen inpasbaar is in het bestaande elektriciteitsnet, is buiten beschouwing gelaten.

## Resultaten investeringspaden

Per investeringspad is geanalyseerd hoeveel de CO<sub>2</sub>-uitstoot in 2050 is verminderd en wat de kosten hiervan zijn. We bespreken eerst de resultaten voor de energiebesparing, daarna die voor de decentrale energieopwekking en tot slot die voor het totaal van energiebesparing en decentrale energieopwekking.

## CO<sub>2</sub>-reductie en de kosten van energiebesparing

### Energiebesparing kan de CO<sub>2</sub>-uitstoot van de warmtevraag met 50 tot 80 procent verminderen

Met de inzet van gangbare technologie voor besparing op de warmtevraag (investeringsroutes Beperkt en Breed) is de CO<sub>2</sub>-reductie 28 tot 51 procent (zie tabel 2). Alleen met de inzet van innovatieve technologie (investeringspad Diep) wordt 80 procent gehaald. Met innovatieve technologie wordt dus een veel grotere CO<sub>2</sub>-reductie gerealiseerd dan met eenvoudiger energiebesparingsmaatregelen. Daar staat tegenover dat de eenvoudiger maatregelen – gemiddeld over de hele periode tot 2050 – kostenvoordelig zijn voor de eindgebruiker, terwijl de inzet van innovatieve technologie een kostennadeel heeft. Het financiële voordeel is het grootst in het investeringspad met een lager energiebesparingstempo dan nu (Beperkt), maar geldt ook voor de investeringsroute met een ten opzichte van nu een- tot tweemaal zo hoog energiesparingstempo (Breed) waarbij na 2030 ook duurdere maatregelen worden genomen. De voor de eindgebruikers financieel nadelige kosten van innovatieve energiebesparingsmaatregelen (route Diep) zijn per woning gemiddeld 73 euro per jaar. Dit zijn de kosten en baten van alle jaren tot 2050 waarbij rekening is gehouden met de afschrijving van de investeringskosten en uitgespaarde inkoopkosten van energie. Als de kosten worden uitgedrukt in euro per vermeden ton CO<sub>2</sub> (de specifieke CO<sub>2</sub>-reductiekosten), dan zijn de kosten 37 euro per ton CO<sub>2</sub>. Ten opzichte van de marginale langetermijnkosten van maatregelen voor vergaande CO<sub>2</sub>-reductie in andere sectoren, zoals CO<sub>2</sub>-afvang en -opslag bij de elektriciteitsproductie, is dit laag tot vergelijkbaar.

Bij fasering van de innovatieve energiebesparingsmaatregelen (investeringsroute Gefaseerd diep) zijn de kosten lager, maar wordt minder CO<sub>2</sub>-reductie gerealiseerd. Als de duurste maatregelen van de diepgaande energiebesparing – de renovatie naar label Eigenwarmte – tot 2030 niet worden genomen, dan bespaart dit op de kosten. Het gaat hierbij om het uitstellen van de elektrische warmtepomp en

Tabel 3

**CO<sub>2</sub>-reductie van de warmtevraag en kosten van de investeringspaden op nationaal niveau (constant jaarlijks bedrag tot 2050)**

Investeringspad		Beperkt	Breed	Diep	Gefaseerd diep
CO <sub>2</sub> -reductiepotentieel in 2050 t.o.v. 2010	%	28%	51%	80%	75%
Nationale kosten	mln euro/jaar	-117	285	855	640
Nationale kosten per woning	euro/jaar	-16	40	120	90
Nationale kosten per vermeden ton CO <sub>2</sub>	euro/ton CO <sub>2</sub>	-22	30	61	42

bijbehorende aanpassingen van de woning waarvan de kosten op dit moment hoog zijn. De aanpassingen betreffen een lagetemperatuurafgiftesysteem in de vloer en wand en/of dikke radiatoren die de bestaande smallere vervangen. De verwachting is dat de kosten van de elektrische warmtepomp en de woningaanpassingen aanzienlijk dalen door technologische ontwikkeling en ervaringen in kleinschalige projecten. Door bij renovaties naar label Eigenwarmte tot 2030 te wachten met de inzet van de elektrische warmtepomp, kan 30 procent worden bespaard op de kosten. De CO<sub>2</sub>-reductie in 2050 is in deze route 5 procentpunt lager dan bij investeringspad Diep, omdat in 2050 minder woningen een elektrische warmtepomp hebben.

Naast de eindgebruikerskosten zijn ook de nationale kosten beschouwd. Hierbij is gerekend met een lagere rente voor de afschrijving van de investeringen, en zonder subsidies, energiebelastingen en btw; bij het bepalen van de kosten is geen rekening gehouden met werkgelegenheidseffecten in de bouw. De nationale kosten zijn in alle investeringspaden hoger dan de eindgebruikerskosten. Als we de gevolgen bekijken voor de samenleving als geheel, dan hebben de investeringsroutes, met uitzondering van Beperkt, geen financiële baten (zie tabel 3). Dit betekent dat er netto kosten worden gemaakt om de CO<sub>2</sub>-uitstoot met 50 tot 80 procent te verminderen. De besparingen op de energie-uitgaven wegen dan niet op tegen de afschrijving van de investeringskosten. In hoeverre energiebesparing dan toch wenselijk is, is afhankelijk van de maatschappelijke waarde die wordt gehecht aan de vermindering van de CO<sub>2</sub>-uitstoot en andere voordelen van energiebesparing, zoals verhoging van het comfort. De verschillen in nationale kosten tussen de investeringspaden vertonen dezelfde trends als bij de eindgebruikerskosten.

**Diepgaande energiebesparing is financieel voordelig bij sterke technologieontwikkeling**

In het onderzoek is uitgegaan van een middenschatting van de huidige en toekomstige investeringskosten van energiebesparing. Naar verwachting dalen de investeringskosten in de loop van de tijd door

technologieontwikkeling, opschaling naar massaproductie en prefabricatie. Voor de gangbare energiebesparingsmaatregelen (twee labels omhoog en/of tot label B) zal de daling van de investeringskosten waarschijnlijk niet zo groot zijn, maar bij de innovatieve technologieën van de energieverbetering naar label Eigenwarmte kan nog veel worden geleerd en kunnen de kosten nog aanzienlijk dalen. In het laatste geval is de daling van de investeringskosten relatief meer onzeker dan bij verbeteringen naar een lager energielabel. Uitgaande van een optimistische schatting van de investeringskosten in plaats van een middenschatting, ontstaat een gunstiger beeld voor de energiebesparing, vooral bij investeringspad Diep.

Bij een optimistische inschatting van de investeringskosten zijn alle investeringsroutes voor de eindgebruikers financieel voordelig (tabel 4). Investeringspad Diep is nu zelfs het meest voordelig. Op nationaal niveau (tabel 5) zijn de netto kosten van deze route dan verwaarloosbaar (de nationale kosten zijn licht negatief).

Behalve de onzekerheid in de investeringskosten zijn onzekerheden doorgerekend over de energieprijzen, het zogenoemde reboundeffect – het effect dat een besparing aanzet tot meer consumptie, waardoor een deel van de besparing weer wordt tenietgedaan – en (voor de eindgebruikers) de geldende rentevoet (tabel 4 en 5). Uit de doorrekening blijkt ten eerste dat de route Beperkt niet alleen in de basisberekening een financieel voordeel heeft, maar in bijna alle beschouwde varianten. Ten tweede blijkt dat investeringspad Breed in twee varianten ('stijgende energieprijzen tot 2050' en 'optimistische investeringskosten') een groter financieel voordeel heeft dan in de basisberekening; in de andere varianten heeft deze route voor de eindgebruikers echter een financieel nadeel.

De tijdshorizon van het onderzoek is beperkt tot het zichtjaar 2050. Uitgaande van een langere tijdshorizon is te verwachten dat er voor investeringsroute Diep een (nog) gunstiger resultaat uitrolt. Zo nemen de meerkosten van dit pad vanaf 2040 af, en in de meeste gevallen is die afname sterker dan bij de overige

Tabel 4

**Onzekerheden eindgebruikerskosten van de CO<sub>2</sub>-reductie (gemiddeld per woning, constant jaarlijks bedrag tot 2050)**

Investeringspad		Beperkt	Breed	Diep	Gefaseerd diep
CO <sub>2</sub> -reductie in 2050 t.o.v. 2010	%	28%	51%	80%	75%
Basisberekening	euro/jaar	-54	-4	73	51
Dalende prijzen	euro/jaar	-14	73	180	141
Gelijkblijvende prijzen	euro/jaar	-27	48	146	112
Stijgende prijzen tot 2050	euro/jaar	-61	-21	45	27
Optimistische investeringskosten	euro/jaar	-74	-69	-77	-38
Pessimistische investeringskosten	euro/jaar	-31	69	244	153
Rebound	euro/jaar	-27	43	120	100
Hoge rente (8% woningen)	euro/jaar	8	109	229	190

Tabel 5

**Onzekerheden nationale kosten van de CO<sub>2</sub>-reductie (gemiddeld per woning, constant jaarlijks bedrag tot 2050)**

Investeringspad		Beperkt	Breed	Diep	Gefaseerd diep
CO <sub>2</sub> -reductie in 2050 t.o.v. 2010	%	28%	51%	80%	75%
Basisberekening	euro/jaar	-16	40	120	90
Dalende prijzen	euro/jaar	8	89	190	148
Gelijkblijvende prijzen	euro/jaar	-3	67	159	122
Stijgende prijzen tot 2050	euro/jaar	-22	29	102	74
Optimistische investeringskosten	euro/jaar	-32	-10	-1	17
Pessimistische investeringskosten	euro/jaar	1	97	259	174
Rebound	euro/jaar	-1	67	144	118

investeringsroutes (zie figuur 2 en 3). Hierdoor ontstaat er in de jaren na 2050 in Diep een ten opzichte van de overige routes relatief gunstiger situatie.

**Voor diepgaande energiebesparingen zijn grote investeringen nodig**

Voor innovatieve energiebesparingen zijn grote investeringen nodig. De jaarlijkse investeringen in het investeringspad met een maximale energiebesparing (Diep) lopen op van jaarlijks 3 miljard euro in 2020 tot 5 miljard euro in 2050. De kosten per woningrenovatie nemen in de loop van de tijd weliswaar af vanwege technologische ontwikkelingen (leereffect), maar het aantal renovaties met duurdere, diepgaande energiebesparingsmaatregelen neemt gestaag toe. Uiteindelijk heeft in 2050 55 procent van de bestaande woningvoorraad het label Eigenwarmte. Deze woningen zijn dan beter geïsoleerd dan energielabel B-woningen, en in de resterende warmtevraag wordt voorzien door een elektrische warmtepomp. De overige 45 procent van de bestaande woningen is dan verbeterd naar label B.

**Betaalbaarheid van energie neemt toe bij stijgend inkomen**

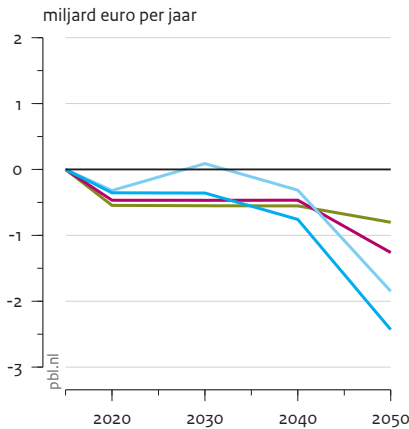
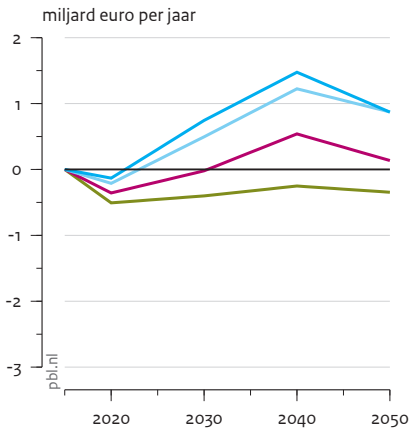
Uit een analyse van de woningmarktmodule van het WoonOnderzoek Nederland 2012 (WoON 2013), met kenmerken van woningen, huishoudens en energiegebruik, blijkt dat huishoudens met een hoog inkomen relatief veel energie gebruiken. Met het oog op de investeringspaden betekent dit dat de meeste CO<sub>2</sub>-reductie per woning valt te behalen in de woningen van huishoudens met hoge(re) inkomens. Tegelijkertijd vragen de woningen van de lagere inkomensgroepen vooral aandacht met het oog op de betaalbaarheid. Hoewel deze huishoudens minder energie gebruiken dan de hogere inkomensgroepen, drukken de energielasten wel zwaar op het besteedbare inkomen, met een aandeel (energiequote) van zo'n 9 procent (tegen gemiddeld 6,4 procent in 2012).

Een van de zorgen voor de toekomst is dat de energieprijzen verder blijven stijgen, waardoor de betaalbaarheid van energie in het gedrang kan komen. Die betaalbaarheid hangt echter niet alleen af van de energiekosten, maar ook van de ontwikkeling van het

**Figuur 2**  
**Meerkosten voor eindgebruikers door energiebesparing in woningen**

Middenschatting van investeringskosten

Optimistische schatting van investeringskosten



Investeringspad

- Beperkt
- Breed
- Gefaseerd diep
- Diep

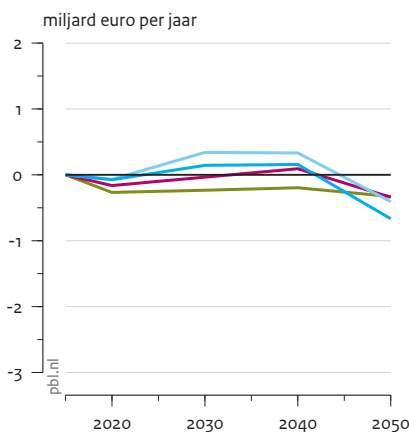
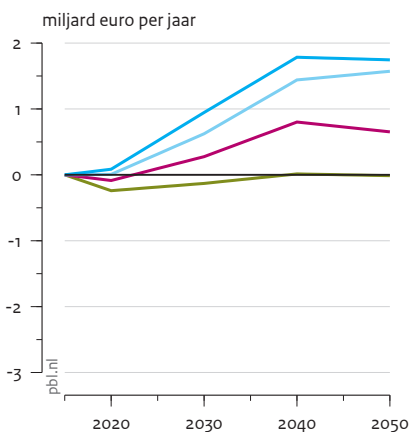
Meerkosten zijn gedefinieerd als het verschil tussen jaarlijkse afschrijving van investeringskosten en uitgespaarde inkoopkosten energie ten opzichte van situatie zonder energiebesparing

Bron: PBL Vesta-model 2013

**Figuur 3**  
**Nationale meerkosten door energiebesparing in woningen**

Middenschatting van investeringskosten

Optimistische schatting van investeringskosten



Investeringspad

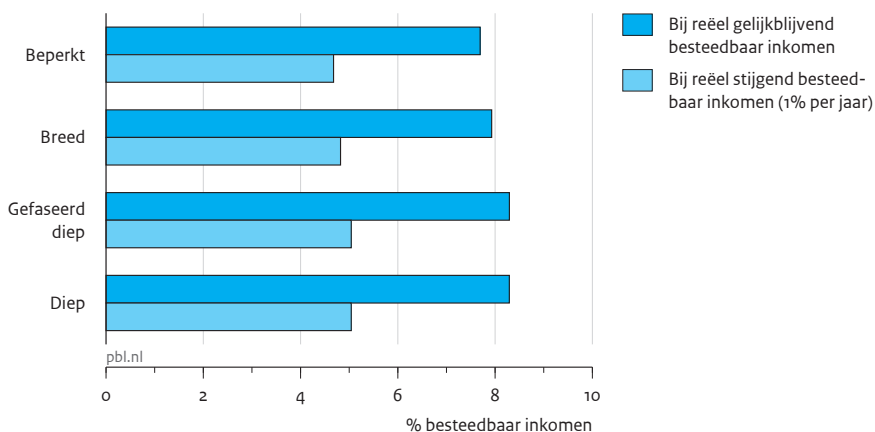
- Beperkt
- Breed
- Gefaseerd diep
- Diep

Meerkosten zijn gedefinieerd als het verschil tussen jaarlijkse afschrijving van investeringskosten en uitgespaarde inkoopkosten energie ten opzichte van situatie zonder energiebesparing

Bron: PBL Vesta-model 2013



Figuur 4  
**Energiequote van huishoudens per investeringspad, 2050**



Bron: PBL Vesta-model 2013

besteedbare inkomen. Wanneer de koopkrachtstijging groter is dan de energieprijsstijging, wordt energie relatief goedkoper. Bij reëel gelijkblijvende inkomens stijgt het aandeel van de energielasten (inclusief de investeringskosten van de energiebesparingsmaatregelen) in alle investeringspaden van gemiddeld 6,4 procent in 2012 naar rond de 8 procent van het besteedbare inkomen (figuur 4). Hierbij is verondersteld dat de energieprijzen zich tot 2030 ontwikkelen volgens de Referentieraming (Verdonk en Wetzels 2012), en dat ze daarna reëel gelijk blijven. Wordt daarentegen uitgegaan van een reële stijging van het besteedbare inkomen van 1 procent per jaar tot 2050, dan daalt het aandeel van de energielasten in alle investeringspaden naar rond de 5 procent. Een stijging van het besteedbare inkomen van 1 procent jaarlijks is een behoudend uitgangspunt ten opzichte van de aannames in de Referentieraming.

### CO<sub>2</sub>-reductie en de kosten van decentrale energieopwekking

#### De mate van energiebesparing bepaalt de benodigde inzet van groen gas en warmtenetten

De warmtevraag die na de energiebesparing resteert, bepaalt de voor een klimaatneutraal resultaat benodigde investeringen in decentrale energieopwekking. Deze restvraag naar warmte verschilt tussen de investeringspaden. Zo wordt in investeringspad Diep 80 procent van de CO<sub>2</sub>-uitstoot gereduceerd met energiebesparing, zodat nog 20 procent van de CO<sub>2</sub>-reductie uit decentrale energieopwekking moet worden verkregen. Het grootste deel hiervan kan worden gerealiseerd met groen gas. In investeringspad Breed is de resterende opgave nog circa 50 procent. Hier kunnen warmtenetten voor de benutting

van restwarmte, geothermie, wijkwarmtekoppeling (wijk-WKK) en groen gas voor een groot deel de resterende opgave opvullen door een CO<sub>2</sub>-neutrale energielevering (tabel 6). Een deel van de warmte wordt dan nog geproduceerd door aardgas waarbij CO<sub>2</sub> vrijkomt. Om de warmtevraag klimaatneutraal te maken, moet de CO<sub>2</sub>-uitstoot van het aardgas worden gecompenseerd door de levering aan een andere sector van elektriciteit uit zonnepanelen.

De inzet van warmtenetten voor de benutting van restwarmte, geothermie en wijk-WKK is minder hard nodig naarmate de investeringspaden meer energiebesparing realiseren. Ook geldt dat het potentieel kleiner is en de kosten van de warmtenetten toenemen naarmate er meer energiebesparing wordt gerealiseerd. In de routes Beperkt en Breed leveren de warmtenetten een substantiële bijdrage aan de CO<sub>2</sub>-reductie, maar in investeringspad Diep spelen zij nog maar een bescheiden rol.

#### Klimaatneutraliteit vereist een grote inzet van zonnepanelen

Het klimaatneutraal maken van de elektriciteitsvraag van huishoudelijke apparaten vereist een omvangrijke inzet van zonnepanelen op daken en aan gevels van woningen. Dit geldt des te meer als ook de resterende CO<sub>2</sub>-uitstoot van de warmtevraag moet worden gecompenseerd zoals hiervoor is geschetst.

Het in 2050 benodigde oppervlak voor zonnepanelen is 200 tot 300 vierkante kilometer, uitgaande van een gunstige ontwikkeling van de energie-efficiëntie van zonnepanelen en een gunstige oriëntatie van de panelen op de zon. Het dakoppervlak van de woningvoorraad wordt in 2050 geschat op 350 tot 550 vierkante kilometer.

Tabel 6

**CO<sub>2</sub>-reductie van de warmtevraag in 2050 en eindgebruikerskosten (constant jaarlijks bedrag tot 2050)**

Investeringspad	Beperkt	Breed	Diep	Gefaseerd diep
<b>CO<sub>2</sub>-reductie (%)</b>				
Maatregelen	55%	72%	94%	91%
- Besparing warmtevraag <sup>1</sup>	28%	51%	80%	75%
- Warmtenetten	17%	11%	4%	6%
- Groen gas	10%	10%	10%	10%
<b>Kosten (mln euro/jaar)</b>				
Maatregelen	-164	135	695	533
- Besparing warmtevraag	-381	-28	517	364
- Warmtenetten	136	82	97	88
- Groen gas	81	81	81	81
<b>CO<sub>2</sub>-reductiekosten (euro/ton)</b>				
Maatregelen	-16	10	39	31
- Besparing warmtevraag	-72	-3	34	26
- Warmtenetten	42	39	131	82
- Groen gas	43	43	43	43

<sup>1</sup> De warmtevraag van de Eigenwarmte-woning wordt gedekt door de elektrische warmtepomp. De benodigde elektriciteit wordt opgewekt door zonnepanelen. De kosten van deze zonnepanelen worden meegenomen bij de besparing op de warmtevraag van de Eigenwarmte-woning.

Een deel van het oppervlak is echter niet geschikt voor de plaatsing van zonnepanelen vanwege obstakels (schoorstenen, dakramen, dakkapellen, liftkokers) of een slechte oriëntatie op de zon. Daar staat tegenover dat in de toekomst waarschijnlijk ook flexibele zonnepanelen makkelijk aan de gevels van woningen kunnen worden bevestigd. Welk deel van het dak- en geveloppervlak beschikbaar is voor de plaatsing van zonnepanelen is niet nagegaan.

Een mogelijk tweede beperking voor een grootschalige inzet van zonnepanelen is de inpasbaarheid van zonnestroom in het elektriciteitsnet. Omdat de zonnestroom in de zomer voor het grootste deel niet gelijktijdig met de elektriciteitsvraag van huishoudelijke apparaten en verlichting wordt geproduceerd, moet die stroom aan het openbare elektriciteitsnet worden geleverd. De inpasbaarheid van het fluctuerende aanbod van zonnestroom in het landelijke elektriciteitsnet kan een groot probleem worden. Op dit moment is onduidelijk in hoeverre oplossingen, waaronder slimme netten, opslagsystemen en sturing van de momenten waarop elektriciteit wordt gevraagd (loadmanagement), mogelijk zijn. Dit hangt ook af van de verdere elektrificatie van andere sectoren en toepassingen als de elektrische auto.

### **Kostenoptimale samenstelling van klimaatneutrale route is afhankelijk van technologieontwikkeling**

De beschouwde investeringsroutes leiden alle naar een klimaatneutrale woningvoorraad. Voor de bijdrage aan de CO<sub>2</sub>-reductie is er enerzijds een groot verschil, anderzijds een grote overeenkomst tussen de routes (zie tabel 7). Het grote verschil zit in de energiebesparing, de eerste pijler van de trias energetica: investeringspad Diep levert bij de besparing op de warmtevraag met 46 procent de grootste CO<sub>2</sub>-reductie, tegen 16 procent bij de route Beperkt. De grote overeenkomst is de bijdrage van zonnepanelen aan de CO<sub>2</sub>-reductie. In alle investeringspaden zorgen zonnepanelen (op jaarbasis) voor de elektriciteitsvraag van huishoudelijke apparaten. Hiermee wordt 42 procent van de CO<sub>2</sub>-reductie gerealiseerd.

Een verschil tussen de investeringspaden in de tweede en derde pijler van de trias energetica is de CO<sub>2</sub>-reductiebijdrage van de warmtenetten. Deze is substantieel in investeringspad Beperkt (10 procent) tot bescheiden in investeringspad Diep (2 procent). De CO<sub>2</sub>-reductiebijdrage van groen gas is in de investeringsroutes vergelijkbaar en redelijk substantieel (6 procent).

Tabel 7  
CO<sub>2</sub>-reductie voor een klimaatneutrale woningvoorraad 2050

Investeringspad	Beperkt	Breed	Diep	Gefaseerd diep
CO <sub>2</sub> -reductie (%)				
Maatregelen warmtevraag	32%	42%	54%	53%
- Besparing warmtevraag <sup>1</sup>	16%	29%	46%	43%
- Warmtenetten	10%	6%	2%	3%
- Groen gas	6%	6%	6%	6%
Compensatie warmtevraag <sup>2</sup>	26%	16%	4%	5%
Zonnepanelen elektriciteitsvraag <sup>3</sup>	42%	42%	42%	42%
Totaal	100%	100%	100%	100%

<sup>1</sup> De warmtevraag van de Eigenwarmte-woning wordt gedekt door de elektrische warmtepomp. De benodigde elektriciteit wordt opgewekt door zonnepanelen. De kosten van deze zonnepanelen worden meegenomen bij de besparing op de warmtevraag van de Eigenwarmte-woning.

<sup>2</sup> De CO<sub>2</sub>-uitstoot van de warmtevraag die na de maatregelen resteert, wordt voornamelijk veroorzaakt door het gebruik van aardgas. Deze uitstoot wordt gecompenseerd door elektriciteitsproductie van zonnepanelen die wordt geleverd aan een andere sector.

<sup>3</sup> De elektriciteit voor het gebruik van huishoudelijke apparaten en verlichting van de woningen wordt geproduceerd door zonnepanelen. Voor de ongelijke momenten van verbruik en productie wordt gesaldeerd.

In tabel 6 staan de eindgebruikerskosten van de CO<sub>2</sub>-reductie van de besparing op de warmtevraag. Hieruit blijkt dat de grote CO<sub>2</sub>-reductie van de energiebesparing in investeringspad Diep ook een keerzijde heeft voor de kosten van de eindgebruikers. Die kosten zijn in de periode 2015-2050 namelijk ruim 500 miljoen euro per jaar. De eenvoudiger energiebesparingsmaatregelen van de routes Beperkt en Breed leveren een kostenvoordeel op voor de eindgebruikers, van 381 respectievelijk 28 miljoen euro jaarlijks. Opvallend is dat de kosten van de aanpak in investeringspad Gefaseerd diep (364 miljoen per jaar) lager zijn dan de ongefaseerde aanpak in investeringspad Diep (517 miljoen per jaar)..

De voorgaande conclusies over de eindgebruikerskosten gelden voor berekeningen op basis van gemiddelde schattingen voor de ontwikkeling van de technologie. Zoals we eerder hebben gezien leidt een optimistischer schatting van de investeringskosten tot een kostenvoordeel voor de eindgebruikers in alle investeringspaden. De eindgebruikerskosten van investeringspad Diep zijn dan zelfs het meest voordelig.

Het was om twee redenen niet mogelijk om de kosten van een grootschalige inzet van zonnepanelen in te schatten. In de eerste plaats is er te weinig bekend over de kosten van de inpasbaarheid van de zonnestroom in het elektriciteitsnet. In de tweede plaats is in het Energieakkoord afgesproken dat de vergoeding van teruglevering en saldering van zonnestroom in de toekomst kan worden aangepast (SER 2013). Bij een

grootschalige inzet, zoals in dit onderzoek geschetst, is dat hoogstwaarschijnlijk het geval.

#### Noot

- 1 Hoewel er CO<sub>2</sub> vrijkomt bij de verbranding van biogas, is in IPCC-verband afgesproken dat biogas CO<sub>2</sub>-neutraal is omdat de CO<sub>2</sub> kortcyclisch is. Kortcyclisch betekent dat de CO<sub>2</sub> die bij de verbranding vrijkomt, kort daarvoor door de planten en bomen is opgenomen uit de atmosfeer.

## Literatuur

SER (2013), *Energieakkoord voor duurzame groei*, 6 september 2013, Den Haag.

Verdonk, M. & W. Wetzels (2012), *Referentieraming energie en emissies: actualisatie 2012. Energie en emissies in de jaren 2012, 2020 en 2030*, Den Haag: PBL i.s.m. ECN.

Wijngaart, R. van den, R. Folkert & M. van Middelkoop (2014), *Op weg naar een klimaatneutrale woningvoorraad in 2050. Achtergronden en uitgebreide resultaten*, Den Haag: PBL.

WoON (2013), *Woningmarktmodule WoonOnderzoek Nederland (WoON) 2012*, Den Haag: Ministerie van BZK/WBI & CBS; zie: <https://easy.dans.knaw.nl/ui/datasets/id/easy-dataset:54102>.



Een klimaatneutrale gebouwde omgeving in 2050. Dat is het streven van het *Energieakkoord voor duurzame groei*. Om deze doelstelling te halen, zijn op grote schaal investeringen nodig in energiebesparing en decentrale energieopwekking.

Investerings in momenteel al veel toegepaste energiebesparing kunnen de CO<sub>2</sub>-uitstoot van de warmtevraag in 2050 verminderen met 50 procent, terwijl zij tevens financieel gunstig zijn voor woningeigenaren. Alternatieve investeringen waarbij de woningen meer ingrijpend worden gerenoveerd, kunnen de CO<sub>2</sub>-uitstoot van de warmtevraag nog sterker verminderen, tot wel 80 procent in 2050, maar zonder financieel voordeel. Voor de samenleving leveren beide routes alleen een financieel voordeel op als de investeringskosten sterk dalen. Om de resterende energievraag volledig klimaatneutraal te maken met decentrale energieopwekking, moet minimaal de helft van het dakoppervlak van woningen worden bedekt met zonnepanelen.

### Planbureau voor de Leefomgeving

Postadres  
Postbus 30314  
2500 GH Den Haag

Bezoekadres  
Oranjevuitensingel 6  
2511 VE Den Haag  
T +31 (0)70 3288700

[www.pbl.nl](http://www.pbl.nl)

Februari 2014